

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Skybridge atau yang lebih mudah di sebut jembatan udara atau jembatan langit adalah salah satu jenis jembatan yang memiliki fungsi seperti jembatan pada umumnya. Yaitu sebagai lintasan untuk memperpendek jarak dengan menyeberangi suatu rintangan tanpa menutup rintangan itu sendiri. Perbedaan dengan jembatan biasanya terletak pada rintangan yang akan dilewati. Skybridge melewati rintangan jarak dan ketinggian dari suatu gedung ke gedung lainnya yang saling berdekatan.

Skybridge adalah salah satu jenis jembatan pejalan kaki tertutup yang menghubungkan antara dua bangunan atau lebih di area padat penduduk. Skybridge dibuat tertutup agar melindungi pejalan dari cuaca yang tidak mendukung. Tujuan pembangunan skybridge adalah untuk efektivitas waktu dan kenyamanan pejalan kaki untuk berpindah dari gedung satu ke gedung lainnya.

Terlihat beberapa arsitek mendesain skybridge untuk bangunan - bangunan pencakar langit yang terkenal di dunia. Bangunan pencakar langit seperti InTempo di Spanyol dan Petronas Twin Tower di Malaysia adalah salah satu contoh skybridge yang merubah pandangan dari jembatan pejalan biasa menjadi sebuah ikon pemandangan yang tidak ada duanya.

Arsitek terkenal dunia mendesain skybridge melebihi ekspektasi yang pernah dibayangkan oleh manusia sebelumnya. Skybridge di desain menjadi tempat fasilitas umum maupun sebuah ruangan yang akan di jual. Fasilitas – fasilitas tersebut antara lain taman bermain terbuka, kolam renang, gym, restaurant dan lainnya. Untuk beberapa skybridge memiliki ruangan hotel atau appartement yang memiliki harga sangat tinggi.



**Gambar 2.1** Petronas Twin Tower (Sumber : [Wikipedia.org/wiki/Petronas\\_Towers](https://www.wikipedia.org/wiki/Petronas_Towers))

## 2.2. Load and Resistance Factor Design (LRFD)

LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) adalah spesifikasi yang dikeluarkan AISC (American Institute of Steel Construction) untuk desain konstruksi baja, berdasarkan ketahanan metode kekuatan ultimit (*Metode Plastis*). LRFD membandingkan lebih spesifik antara beban  $Q$  dan resistensi  $R_n$ , seperti persamaan untuk persyaratan mendapatkan keamanan Sebagai Berikut :

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$\sum$  = Penjumlahan

$i$  = Menunjukan berbagai kondisi

$Q_i$  = Pengaruh beban nominal

$\gamma_i$  = Faktor beban terkait beban  $Q_i$  yang ditinjau

$\gamma_i Q_i$  = Kuat perlu, dari kondisi batas yang paling ekstrim

$R_n$  = Kuat nominal, kekuatan elemen yang dihasilkan

$\phi$  = Faktor tahanan sesuai jenis struktur yang ditinjau

$\phi R_n$  = Kuat rencana, kekuatan struktur yang direncanakan

Dimana ruas kiri mewakili resistensi (kekuatan) dari komponen atau system, sedangkan ruas kanan mewakili beban yang diharapkan dan ditanggung sehingga cenderung memberikan struktur yang lebih aman. Pada sisi kekuatan harga nominasi resistensi  $R_n$  dikalikan faktor resistensi  $\phi$  (reduksi kekuatan) untuk mendapatkan kekuatan desain. Pada sisi beban berbagai efek beban  $Q_i$  (seperti beban mati, beban hidup, dan beban salju) dikalikan dengan faktor-faktor kelebihan beban  $\gamma_i$  untuk mendapatkan jumlah beban  $\sum \gamma_i Q_i$  dari beban-beban terfaktor.

LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) adalah suatu metode dalam perencanaan bangunan gedung yang memperhitungkan faktor beban dan faktor ketahanan material. Konsep desain ini pada prinsipnya tegangan yang terjadi dalam elemen struktur harus lebih kecil dari tegangan yang di iijinkan. Dengan pengertian lain, beban yang bekerja harus lebih kecil dari kapasitas kekuatan elemen dibagi dengan suatu faktor keamanan safety factor.

## 2.3. Skybridge

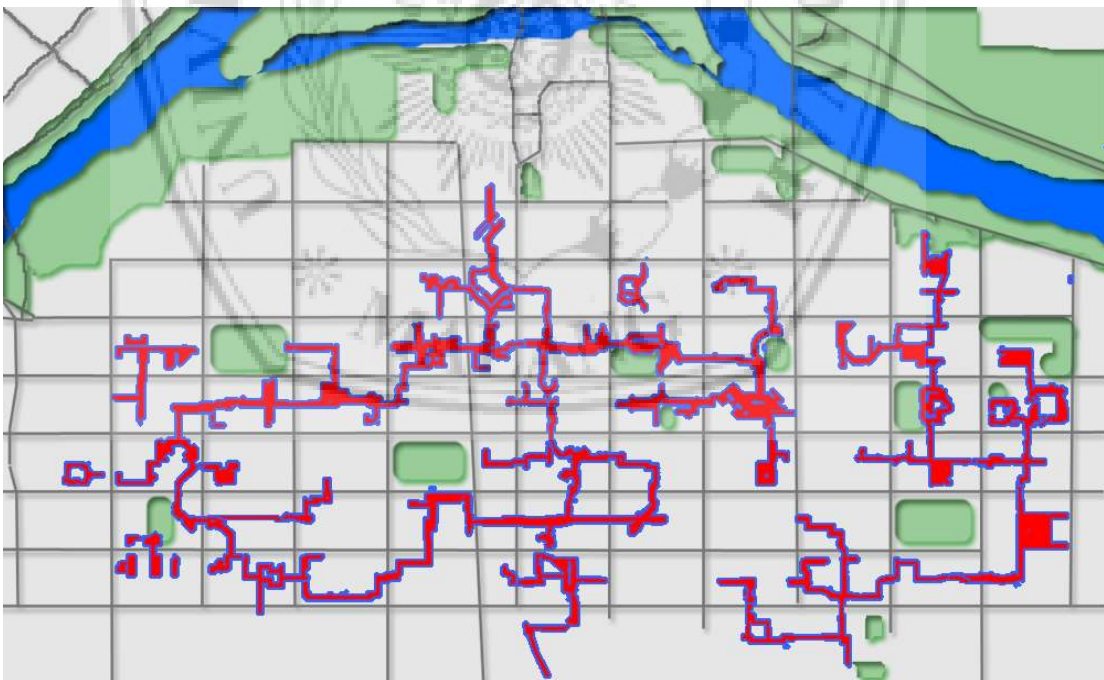
### 2.3.1. Definisi Skybridge

Skybridge adalah salah satu jenis jembatan pejalan kaki tertutup yang menghubungkan antara dua bangunan atau lebih di area padat penduduk. Skybridge terkadang disebut juga skyways atau skywalk adalah sebuah tempat pejalan kaki di suatu ketinggian yang telah di kembangkan selama berabad – abad. Pada masa kini skybridge sering terlihat di transit-hub, bandara, mall dan kompleks appartement. Tidak

hanya sebagai tempat pejalan kaki biasa, skybridge pada masa kini juga digunakan sebagai tempat yang menawarkan pemandangan yang indah.

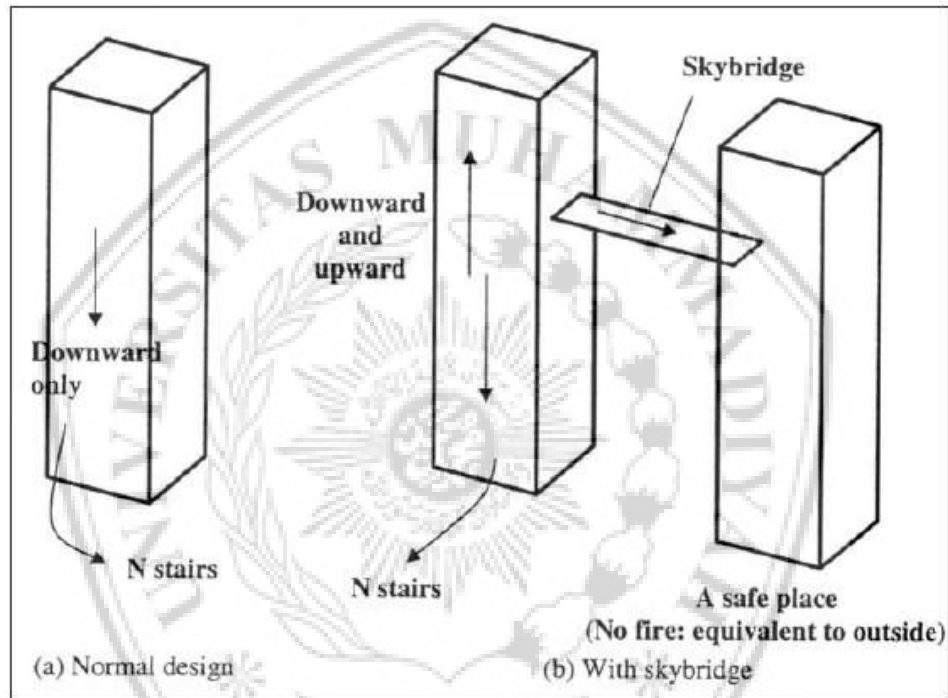
### 2.3.2. Kelebihan dan Kekurangan Skybridge

Kelebihan utama dalam pembangunan skybridge adalah kemudahan dan kenyamanan pengguna gedung. Dalam skala kecil skybridge bertujuan melindungi pejalan kaki dari lingkungan yang tidak mendukung dan mempercepat waktu tempuh dari gedung satu ke gedung lain di ketinggian tertentu. Namun dalam skala besar seperti di negara maju yang telah menghubungkan lebih dari dua gedung bertujuan untuk menurunkan tingkat kemacetan, mengurangi polusi udara dan menghindarkan pejalan kaki dari kebisingan lalu lintas. Skybridge terpanjang dunia di kota Calgary, Canada dengan panjang 18 kilometer dan 62 skybridge yang menghubungkan lebih dari 100 gedung terbukti dapat menurunkan angka kemacetan.



**Gambar 2.2** Jaringan Skybridge Pusat Kota Calgary (Sumber : [Wikipedia.org/wiki/%2B15](https://www.wikipedia.org/wiki/%2B15))

Kelebihan berikutnya adalah skybridge dapat digunakan sebagai rute evakuasi ketika gedung dalam kebakaran atau bahaya seperti terorisme. Dengan skybridge rute evakuasi yang biasanya hanya tangga darurat sekarang dapat melalui rute evakuasi skybridge. Skybridge memungkinkan pengguna gedung berpindah ke gedung lainnya yang lebih aman. Hal ini meningkatkan tingkat keamanan gedung terutama bagi orang yang ada di lantai atas.



**Gambar 2.3** Rute Evakuasi Bangunan Tinggi (Sumber : Wood, 2005)

Kekurangan dari pembangunan skybridge lebih ke dalam segi bisnis. Semisal skybridge yang terletak di tengah tingkat kedua gedung dapat menurunkan harga jual lantai bawah gedung yang umumnya di jual lebih mahal dari lantai yang ada di atas. Pada skybridge skala besar dapat menurunkan aktivitas di jalanan dimana orang akan lebih menghabiskan waktu di dalam ruangan yang akan berdampak buruk bagi pemilik usaha – usaha kecil di pinggir jalan. Pembangunan skybridge juga harus memiliki kemampuan khusus dalam perencanaan dan pelaksanaannya, baik di saat pembangunan maupun rencana tata letaknya.

## **2.4. Jenis – Jenis Skybridge**

Jenis – jenis skybridge atau macamnya secara umum dapat dibagi menjadi dua. Yang pertama dapat dilihat dari kepemilikan atau kegunaannya skybridge itu sendiri. Berikutnya adalah skybridge dilihat dari penyaluran beban - beban yang di terimanya.

### **2.4.1. Skybridge Dilihat dari Kepemilikan**

Kepemilikan skybridge ditinjau dari siapa pihak yang membuat dan mengelola skybridge. Kepemilikan dari skybridge akan menentukan fungsi atau kegunaan dari skybridge tersebut.

#### **a) Public Skybridge**

Skybridge jenis ini adalah skybridge yang dapat diakses secara bebas oleh banyak masarakat. Pada public skybridge siapapun dapat mengakses baik gedung yang dihubungkan maupun skybridge tersebut. Sesuai dengan namanya, public skybridge digunakan sebagai fasilitas umum yang bertujuan untuk kemudahan masyarakat untuk berpindah tempat dari bangunan satu ke bangunan lain. Salah satunya adalah Skybridge +15 Calagry dan Skybridge Terminal Tirtonadi Solo.

Public skybridge biasanya terletak pada bangunan – bangunan atau fasilitas umum milik pemerintah maupun swasta. Public skybridge sebagian besar dibangun dan dikelola oleh pemerintah. Pemerintah membangun skybridge pada fasilitas – fasilitas umum seperti bandara, terminal, stasiun, rumah sakit dan fasilitas umum lainnya yang pada umumnya gedung yang dihubungkan dikelola pula oleh pemerintah. Selain fasilitas umum, public skybridge juga dibangun oleh pemerintah yang menghubungkan lebih dari dua gedung baik milik pemerintah atau swasta untuk mengurangi kemacetan.

#### **b) Private Skybridge**

Berlainan dengan public skybridge, tidak semua orang bisa mengakses private skybridge. Private skybridge dikelola oleh instansi atau perusahaan tertentu yang mengelola sebagian atau seluruh gedung yang dihubungkan. Akses skybridge terbatas pada pengguna gedung yang dihubungkan atau atas izin pengelola skybridge.

Private skybridge biasanya tidak hanya sebagai akses penyebrangan pejalan kaki. Pada apartemen dan hotel ternama dunia, skybridge digunakan sebagai ikon dari bangunan dan tempat yang menyajikan pemandangan yang indah. Beberapa apartement dan hotel ternama didunia membuat kamar – kamar mewah pada skybridge dan memberi skybridge fasilitas – fasilitas mewah seperti kolam renang, café, gym dan restaurant. Seperti pada Petronas Tower Twin Tower di Malaysia yang menjadikan skybridge sebagai destinasi wisata.

#### **2.4.2. Skybridge Dilihat dari Penyaluran Beban**

Skybridge sebagai sebuah struktur tentunya menerima beban – beban yang akan di salurkan menuju bagian struktur lain sampai menuju pondasi. Penyaluran beban dari skybridge tersebut harus di desain sesuai dengan kebutuhan gedung yang akan dihubungkan dan kondisi lapangan.

##### **a) Attached Skybridge**

Struktur dari attached skybridge terikat dengan struktur gedung yang dihubungkan. Beban dari skybridge sepenuhnya akan dipikul oleh struktur gedung. Maka dari itu beban – beban yang diterima oleh struktur skybridge akan di salurkan menuju struktur dari gedung yang dihubungkan. Struktur dari gedung tersebut dapat berupa corbel, balok, kolom atau shearwall yang nantinya akan menyalurkan beban sampai ke pondasi gedung.

Skybridge yang terikat pada gedung atau attached skybridge digunakan dalam beberapa kondisi tertentu. Salah satu kondisi tersebut adalah elevasi struktur skybridge dari muka tanah cukup tinggi. Semisal skybridge yang terletak pada tengah ketinggian atau atap dari gedung pencakar langit yang akan dihubungkan. Kondisi yang lain yaitu apabila kondisi dibawah skybridge tidak memungkinkan untuk dibuat pilar penyangga

seperti skybridge yang terletak di atas jalan raya. Salah satu contoh dari attached skybridge adalah Petronas Twin Tower di Malaysia dan Linked Hybrid di China.



**Gambar 2.4** Attached Skybridge pada Linked Hybrid Beijing China (Sumber : [Wikipedia.org/wiki/Linked\\_Hybrid](https://en.wikipedia.org/wiki/Linked_Hybrid))

#### **b) Independent Structure Skybridge**

Independent Structure Skybridge adalah skybridge dimana struktur dari skybridge berdiri sendiri tanpa terikat dengan gedung yang dihubungkan. Skybridge jenis ini dapat memikul sendiri seluruh beban yang diterimanya. Ciri utama independent structure skybridge adalah adanya pilar penyangga skybridge. Pilar tersebut yang akan menyalurkan beban dari struktur skybridge menuju pondasi dari skybridge.

Struktur dari independent structure skybridge sepenuhnya terpisah dengan struktur gedung yang dihubungkan. Hal ini di karenakan beberapa faktor, diantaranya adalah desain dari gedung yang akan dihubungkan tidak sanggup untuk memikul beban dari skybridge. Faktor yang lain adalah karena gedung yang akan dihubungkan sudah selesai di bangun. Independent structure skybridge umumnya berada di elevasi yang tidak terlalu tinggi dari muka tanah.





**Gambar 2.5** Independent Structure Skybridge pada University of Leed Ohio (Sumber : [Wikipedia.org/wiki/Skyway](https://www.wikipedia.org/wiki/Skyway))

### c) **Semi-Independent Skybridge**

Pada skybridge jenis ini bisa dikatakan adalah gabungan dari attached skybridge dan independent structure skybridge dimana struktur skybridge terikat dengan gedung yang duhubungkan dan juga memiliki pilar penyangga skybridge. Beban – beban yang diterima skybridge di salurkan ke gedung yang dihubungkan maupun pilar penyangga yang berikutnya akan di salurkan sampai ke pondasi, baik pondasi dari gedung maupun pondasi pilar penyangga tersebut.

Semi-independent skybridge digunakan ketika jarak dari gedung yang akan dihubgkan cukup jauh sehingga menjadikan bentang dari skybridge tersebut besar. Skybridge jenis ini dapat pula digunakan ketika terjadi belokan pada skybridge. Semi-independent skybridge sering di jumpai pada bandara.

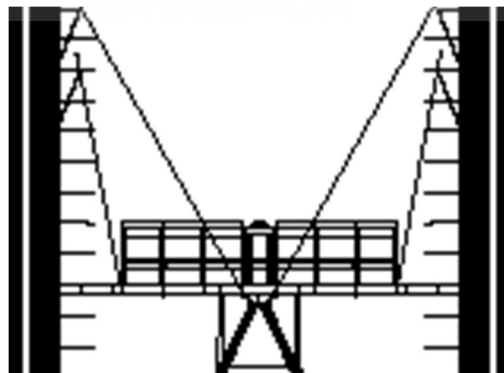


**Gambar 2.6** Semi-Independent Skybridge di Davenport USA (Sumber :  
Wikipedia.org/wiki/Davenport\_Skybridge)

### 2.4.3. Skybridge Dilihat dari Tipe Struktur

#### a) Simple Beam

Simple Beam Skybridge adalah tipe struktur yang paling sederhana dimana struktur skybridge hanya berupa balok horizontal yang di sangga oleh tiang penopang atau kolom di kedua ujung skybridge. Salah satu contoh adalah Skybridge Petronas Tower yang terdiri dari balok grider yang memiliki perletakan rol di kedua ujung nya dan perletakan sendi di tengah bentang.



**Gambar 2.7** Simple Beam Pada Petronas Tower Skybridge (sumber : engineering.com)

### b) Suspension Skybridge (Jembatan Gantung)

Pada dasarnya suspension skybridge sama halnya seperti jembatan gantung pada umumnya. Skybridge di gantung menggunakan kabel baja, kabel baja tersebut terhubung dengan pilar penyangga atau gedung yang dihubungkan oleh skybridge.



**Gambar 2.8** Suspension Skybridge Pada Veterans Affairs Medical Center, Portland U.S.A

### c) Truss Skybridge (Jembatan Rangka)

Struktur rangka skybridge adalah tipe struktur yang paling banyak di gunakan dalam perencanaan skybridge. Umumnya menggunakan bahan baja. Struktur rangka lebih efisien dalam pelaksanaan dan pekerjaan dari skybridge. Dari pemasangan yang mudah dan perawatan yang mudah.



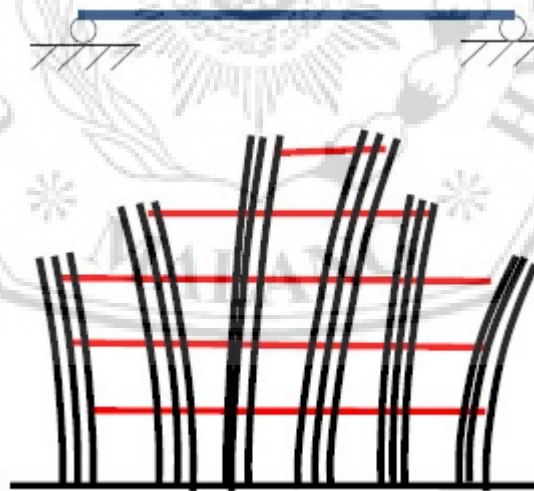
**Gambar 2.9** Truss Skybridge Pada Sunway Velocity Residence, Kuala Lumpur Malaysia

## 2.5. Tipe Koneksi antara Skybridge dan Gedung

Berikut ini akan di jelaskan tentang perbedaan tipe koneksi antara skybridge dan gedung. Tipe – tipe koneksi tersebut adalah roller, rigid dan hinge. Tidak sebatas itu saja, tipe koneksi antara skybridge dengan gedung dapat terdiri dari gabungan antara tipe – tipe koneksi tersebut.

### 2.5.1. Roller-Connected Skybridge

Dalam tipe koneksi ini, main girder atau girder induk dari skybridge terhubung dengan kedua gedung dengan bantalan roll (roller bearings). Hal tersebut membuat masing - masing gedung dapat bergoyang atau berputar sendiri secara terpisah. Skybridge dari Petronas Twin Tower di Malaysia adalah salah satu contoh roller-connected skbridge, akan tetapi ada perletakan sendi di tengah bentang dari skybridge tersebut. Salah satu contoh roller-connected skbridge adalah Linked Hybrid di China.



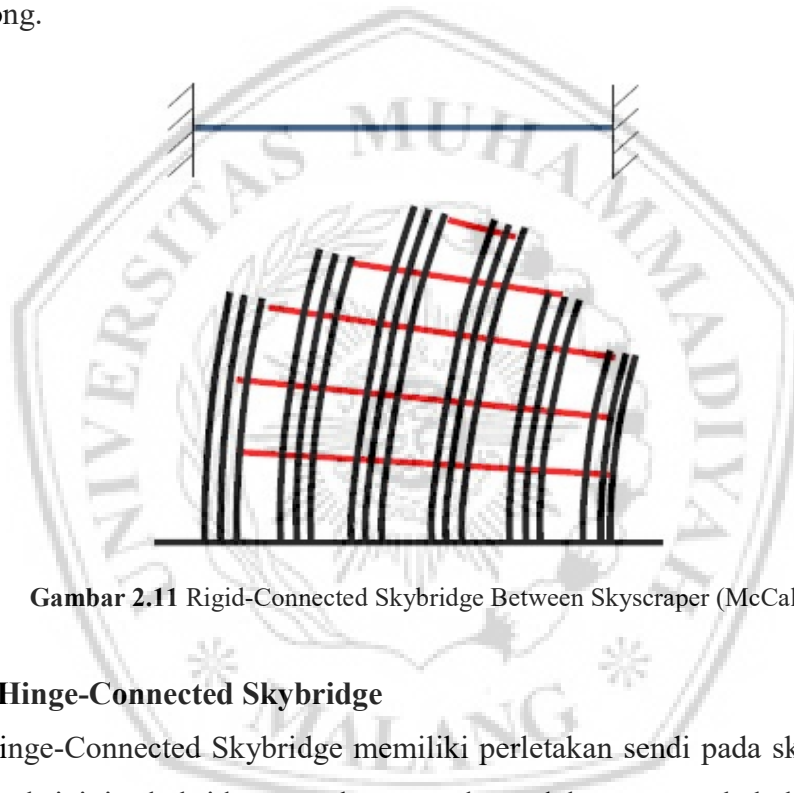
**Gambar 2.10** Roller-Connected Skybridge Between Skyscrapers (McCall 2013)

### 2.5.2. Rigid-Connected Skybridge

Struktur dari skybbridge pada tipe ini menyatu dengan struktur gedung secara utuh. Sistem struktur skybridge secara keseluruhan menyatu dengan gedung. Karena

struktur skybridge menyatu maka skybridge mengikuti simpangan dari gedung ketika bergoyang atau berputar.

Skybridge dengan tipe ini dapat mengurangi simpangan dari gedung tetapi dalam perencanaannya memerlukan metode khusus, baik dalam merencanakan struktur skybridge maupun struktur gedung yang dihubungkan. Umumnya koneksi tipe ini memiliki volume ruang skybridge yang besar, seperti skybridge pada Union Square di Hongkong.

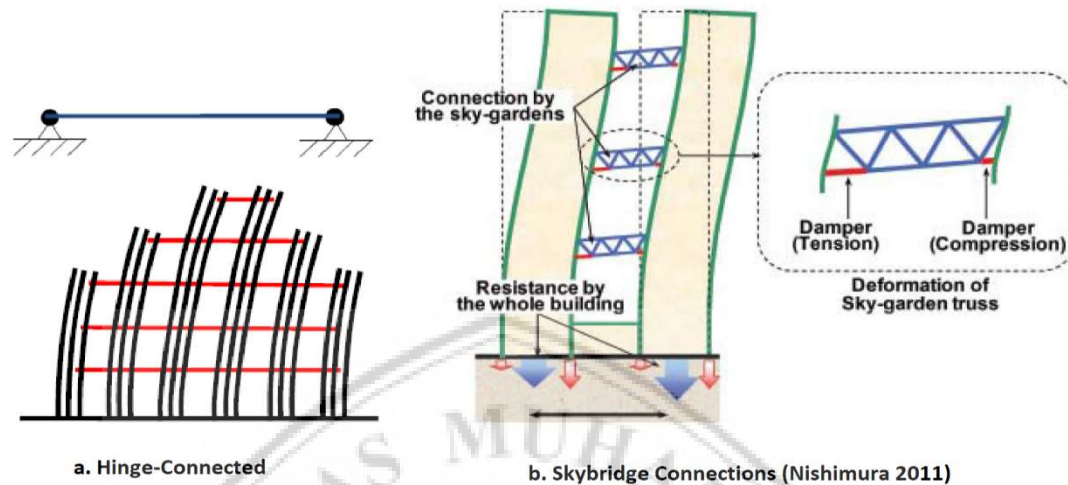


**Gambar 2.11** Rigid-Connected Skybridge Between Skyscraper (McCall 2013)

### 2.5.3. Hinge-Connected Skybridge

Hinge-Connected Skybridge memiliki perletakan sendi pada skybridge. Dalam tipe koneksi ini, skybridge membantu gedung dalam menambah kekakuan lateral akibat beban angin. Namun tipe koneksi ini memerlukan metode yang khusus dan memerlukan sebuah peredam (Damper) pada batang struktur skybridge. Agar mempermudah perencanaan, umumnya skybridge dengan tipe koneksi ini direncanakan pada tingkat paling atas dari gedung.





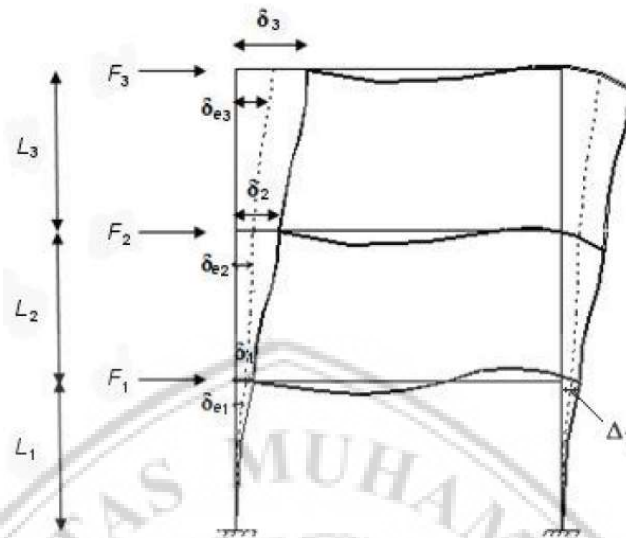
Gambar 2.12 Hinge-Connected Skybridge Between Skyscraper (McCall 2013)

## 2.6. Stabilitas Skybridge Akibat Gedung

Dalam merencanakan skybridge ada hal yang harus di perhatikan selain pembebanan yang bekerja pada skybridge. Hal tersebut adalah stabilitas skybridge akibat gedung. Hal pertama yang harus diperhatikan adalah simpangan dari kedua gedung yang di hubungkan. Struktur skybridge harus dapat menyesuaikan simpangan yang terjadi dari kedua gedung. Dilatasi skybridge dengan gedung yang dihubungkan harus direncanakan dengan baik agar tidak terjadi kerusakan akibat simpangan gedung. Dalam merencanakan skybridge di elevasi yang tinggi harus mempertimbangkan bahan yang mudah dan efisien karena penggunaan beton bertulang untuk skybridge akan sangat tidak efektif dalam pelaksanaanya.

### 2.6.1. Simpangan Akibat Gaya Lateral

Simpangan merupakan defleksi atau perubahan bentuk akibat gaya lateral yang bekerja pada struktur. Penentuan simpangan harus di hitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang di tinjau. Simpangan harus di hitung sesuai dengan kekuatan gempa yang ditentukan dalam SNI yang ada.



Gambar 2.13 Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI Gempa : 2012)

Sebelum menghitung simpangan, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung berapa gaya lateral ekuivalen yang terjadi pada gedung. Prosedur pertama untuk mencari gaya lateral ekuivalen sesuai SNI Gempa 2012 adalah menghitung geser dasar seismik. Geser dasar seismik ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

$C_s$  : Koefisien respon seismik

$W$  : Berat seismik efektif

Dimana koefisien respon seismik ( $C_s$ ) didapat dengan persamaan :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  : Parameter percepatan spectrum respon desain dalam rentang perioda pendek

$R$  : Faktor modifikasi respons

$I_e$  : Faktor keutamaan gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung dengan persamaan 2.2 tidak boleh melebihi ketentuan berikut :

$$C_{s_{maks}} = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Sedangkan  $C_s$  harus lebih besar atau sama dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{s_{min}} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$S_{D1}$  : Parameter percepatan spectrum respon desain pada perioda sebesar 1,0 detik

$T$  : Perioda fundamental struktur (detik)

Setelah menemukan nilai  $V$ , maka langkah berikutnya adalah menghitung gaya lateral ( $F_x$ ) yang timbul di semua tingkat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana nilai  $C_{vx}$  dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

$C_{vx}$  : Faktor distribusi vertical

$V$  : Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)



$w_i$  dan  $w_x$  : bagian berat seismik efektif total struktur pada tingkat  $i$  atau  $x$

$k$  : eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut,

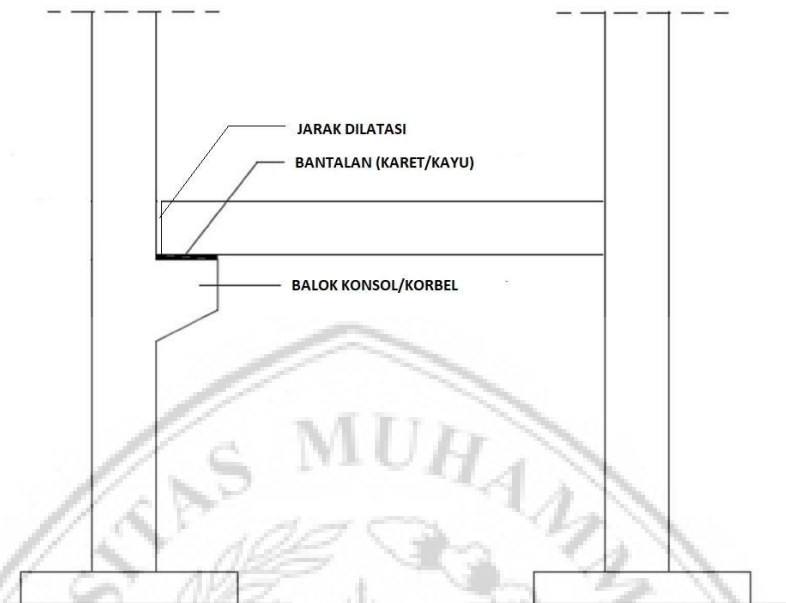
- $k = 1$  , untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang
- $k = 2$  , untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih
- Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik nilai  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

Gaya lateral ( $F_x$ ) kemudian di distribusikan ke setiap portal dengan membagi gaya tersebut terhadap jumlah portal yang ada. Setelah nilai  $F_x$  tiap portal diperoleh maka selanjutnya dilakukan analisa struktur untuk menemukan besarnya nilai simpangan yang terjadi pada gedung.

### **2.6.2. Dilatasi**

Dilatasi adalah sebuah pemisahan pada bangunan karena memiliki sistem struktur yang berbeda. Dilatasi memiliki fungsi yaitu untuk membagi pusat massa bangunan agar tetap stabil saat struktur menerima beban terutama beban hidup (gaya vertikal dan horisontal) misalkan gempa dan pergeseran tanah. Dengan sistem dilatasi bangunan secara keseluruhan akan terlihat seperti menyatu tetapi sebenarnya terpisah atau berdiri sendiri secara struktur. Hal ini perlu dilakukan supaya tidak terjadi keretakan atau putusny sistem struktur bangunan tersebut.

Dalam penerapan sistem dilatasi harus benar – benar memperhatikan jaraknya. Jarak dilatasi harus di rencanakan sesuai perhitungan simpangan dari kedua bangunan. Jarak dilatasi yang terlalu kecil dapat mengakibatkan berbagai kerusakan bangunan misalnya tabrakan balok bangunan dengan komponen struktur lainnya akibat simpangan yang terjadi akibat gaya gempa.



**Gambar 2.14** Dilatasi Bangunan Menggunakan Balok Konsol/Korbel

Dilatasi bangunan umumnya diterapkan pada beberapa kondisi seperti :

- Bangunan yang mempunyai tinggi berbeda – beda, pertemuan antara lantai yang rendah dengan yang tinggi.
- Pemisah bangunan induk dengan bangunan sayap.
- Bangunan yang memiliki kelemahan geometris.
- Bangunan yang memiliki panjang lebih dari 30m.
- Bangunan yang berdiri diatas tanah yang kurang rata.
- Bangunan yang ada didaerah gempa.
- Bangunan yang mempunyai bentuk denah tidak simetris seperti L, T, Z, O, H, dan U.

## 2.7. Pembebanan Skybridge

Beban merupakan gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur merupakan estimasi dan penentuan distribusi beban yang bekerja memerlukan asumsi dan pendekatan. Jika seluruh beban yang bekerja pada suatu struktur telah di estimasikan, maka selanjutnya yang harus dilakukan adalah menentukan kombinasi beban yang paling dominan bekerja pada struktur tersebut.

Skybridge merupakan salah satu struktur yang berfungsi koridor dari gedung, maka dari itu pembebanan di gunakan pembebanan gedung. Penentuan pembebanan pada proses perencanaan disesuaikan dengan peraturan SNI 1727-2013 mengenai Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain kecuali untuk beban angin direncanakan sesuai SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan. beban-beban yang tertera pada peraturan tersebut akan dipilah mana yang akan digunakan kemudian akan di analisa dengan menggunakan program bantu Staad-Pro.

*Skybridge* yang dibangun harus mampu menahan gaya-gaya beban luar yang bekerja. Pembebanan pada *skybridge* dibagi menjadi tiga, yakni beban mati, beban lalu lintas dan aksi lingkungan.

### 2.7.1. Beban Mati

Beban mati skybridge terdiri atas berat struktur rangka, berat sambungan mur-baut, dan berat sambungan pelat. Beban ini didasarkan berdasar berat jenis bahan, yakni bahan baja dengan berat jenis 7850 kg/m<sup>3</sup>. Berikutnya adalah deck jembatan yang direncanakan menggunakan beton dengan berat jenis 2320 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.7.2. Beban Hidup

Beban hidup rencana terdiri atas beban koridor perkantoran di atas lantai pertama sebesar 3.83 kn/m<sup>2</sup> atau setara dengan 400 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabel 2.1** Beban Hidup Perkantoran

Gedung perkantoran:	
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian	
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)
Kantor	50 (2,40)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)

(Sumber : SNI 1727-2013)

### 2.7.3. Aksi Lingkungan

Beban aksi lingkungan yang direncanakan adalah beban angin. Beban angin direncanakan sesuai dengan SNI 1725-2016. Beban angin harus didistribusikan secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Beban angin pada struktur dihitung berdasarkan rumus.

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

$P_D$  : Tekanan angin rencana (MPa)

$P_B$  : Tekanan angin dasar

$V_{DZ}$  : Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

$V_B$  : Kecepatan angin rencana yaitu 90 – 126 km/jam

Nilai tekanan angina dasar ( $P_B$ ) dapat diperoleh dari table berikut :

**Tabel 2.2** Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan	Angin Hisap
	MPa	MPa
Rangka, Kolom dan Pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

(Sumber : SNI 1725-2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar. (SNI 1725-2016)

Sedangkan kecepatan angin rencana pada elevasi Z ( $V_{DZ}$ ) dihitung dengan persamaan :

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

$V_{10}$  : kecepatan angin pada elevasi 10 m di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

$V_B$  : Kecepatan angin rencana yaitu 90 – 126 km/jam

$Z$  : Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau sungai

$V_0$  : Kecepatan gesekan angina

$Z_0$  : Panjang gesekan di hulu jembatan

Nilai  $V_{10}$  diperoleh dari :

- grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang
- survei angin pada lokasi jembatan, dan
- jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa

$$V_{10} = V_B = 90 \text{ s/d } 126 \text{ km/jam}$$

Sedangkan nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  ditentukan dari table berikut :

**Tabel 2.3** Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
$V_0$ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
$Z_0$ (mm)	70	1000	2500

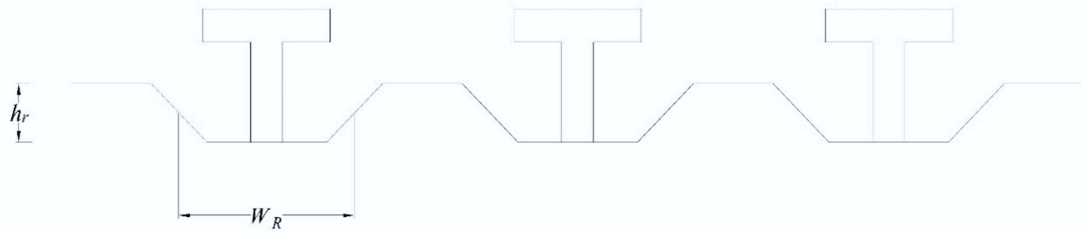
(Sumber : SNI 1725-2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

Kecepatan Angin  $V_{DZ}$  dihitung berdasarkan elevasi. Apabila elevasi kurang dari 10 meter maka menggunakan  $V_{DZ} = V_B$ , namun apabila elevasi lebih dari 10 meter harus dihitung berdasar persamaan 2.7 diatas.

## 2.8. Struktur Pelat Komposit

Konstruksi komposit plat lantai terdiri dari sebuah slab beton cetak yang di cor di tempat yang solid, ditempatkan di atas dan saling di hubungkan dengan gelagar baja. Dari perkembangannya struktur komposit digunakan deck baja gelombang yang berfungsi sebagai bekisting saat plat beton di cetak dan juga berfungsi sebagai tulangan positif dari plat beton. Aksi komposit antara deck baja dan plat beton dapat terbentuk melalui lekatan kimiawi dan friksi antara kedua material serta kekuatan pasif dari profil deck yang beraksi seperti pratekan.

Persyaratan deck baja gelombang dan penghubung gesernya untuk di gunakan dalam komponen struktur komposit di atur dalam SNI 1729-2015. Berdasarkan hal tersebut maka di syaratkan :



**Gambar 2.15** Penampang Melintang Deck Baja Gelombang (Sumber: Agus, 2013)

1. Tinggi maksimum deck baja,  $h_r \leq 75$  mm
2. Lebar minimum dari gelombang deck,  $W_r > 50$  mm, lebar ini tidak boleh lebih besar dari lebar bersih minimum pada tepi atas deck baja
3. Tebal plat minimum dari tepi atas deck baja = 50 mm
4. Deck baja harus di angkurkan kesemua komponen struktur pendukung pada jarak tidak melebihi 460 mm

### 2.8.1. Momen Kapasitas Lentur

Untuk rantai baja ang realtif dangkal dan plat yang tingginya cukup besar yaitu apabila tebal plat  $h$  jauh lebih besar dari tingi rantai baja, pelelehan mungkin telah menyebar pada seluruh tinggi rantai baja sebelum regangan tekan beton mencapai harga batas sebesar  $\epsilon_u = 0.003$ . Selanjutnya gaya Tarik baja akan bekerja pada pusat dari penampang rantai baja. Pada keadaan ini plat tersebut bersifat bertulangan lembah (*undereinforced*) dan disini berlaku persamaan yang biasa dipakai untuk merencanakan penampang yang berbentuk persegi yaitu:

$$C = (0,85 \cdot f_c').b.a \dots\dots\dots (2.10)$$

$$T = A_s.F_y \dots\dots\dots (2.11)$$

Didapatkan keseimbangan gaya horizontal, jika  $C = T$  maka diperoleh :

$$a = \frac{A_s.F_y}{0,85.f_c'.n} \dots\dots\dots (2.12)$$

Maka besarnya nilai momen kapasitas lentur deck baja ( $Mn$ ) :

$$Mn = T \cdot jd \dots\dots\dots (2.13)$$

$$Mn = As \cdot Fy \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

$Mn$  : Momen nominal lentur deck baja

$A$  : Luasan deck baja

$a$  : Garis netral penampang

$b$  : Pias persatuan lebar deck baja

Untuk plat dengan tulangan lantai baja seperti ini, kondisi keseimbangan di definisikan sebagai keadaan dimana bagian atas dari lantai baja baru mencapai tegangan lelehnya ketika regangan tekan beton mencapai harga  $\epsilon_u = 0.003$ . Harga perbandingan baja seimbang untuk kondisi yang di jelaskan tersebut adalah :

$$Pb = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \left[ \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u + \epsilon_y} \right] \left[ \frac{y_c - h_r}{d} \right] \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\text{Jika } \epsilon_u = 0.003 \text{ dan } \epsilon_y = \frac{F_y}{E_s}$$

Maka diperoleh nilai  $Pb$  yang dipakai :

$$Pb = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \left[ \frac{0.003 \cdot E_s}{0.003 \cdot E_s + f_y} \right] \left[ \frac{y_c - h_r}{d} \right] \dots\dots\dots (2.16)$$

Jika nilai  $E_s = 200000$  Mpa, maka nilai  $Pb$  yang dipakai :

$$Pb = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \left[ \frac{600}{600 + f_y} \right] \left[ \frac{y_c - h_r}{d} \right] \dots\dots\dots (2.17)$$



Keterangan :

$\beta_1$  : 0.85 untuk  $f_c' \leq 30$  Mpa

$\beta_1$  :  $0.85 - 0.008 (f_c' - 30)$  untuk  $f_c' > 30$  Mpa

$f_c'$  : Kuat mutu beton (Mpa)

$f_y$  : Kuat mutu baja (Mpa)

$h_r$  : kedalaman deck baja (mm)

$Y_c$  : tebal plat (mm)

$D$  : kedalaman efektif plat (jarak serat atas beton ke titik pusat deck baja (mm))

Persamaan ini sama dengan  $P_b$  pada plat biasa kecuali untuk bentuk terakhir yang dapat di dalam kurung, seluruh lantai baja termasuk serat atasnya pada jarak  $y_c - h_r$  dari bagian atas plat harus meleleh sedang gaya tarik total pada pusat lantai baja terletak pada jarak  $d$  dari bagian atas plat.



**Gambar 2.16** Diagram Gaya Komposit Plat (Sumber : Salmon, 1995)

### 2.8.2. Desain Tulangan Tumpuan

Dalam perhitungan tulangan negative menggunakan persamaan (Istimawan Dipohusodo, 1994) :

$$D_{rencana} = \text{tebal pelat (h)} - \text{tebal selimut beton} - 1,2 D_{\text{tulangan rencana}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Menentukan nilai  $k$  yang di perlukan :

$$k = \frac{Mu}{\phi b d^2} \text{ (Mpa)} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dari table Istimawan (A-8 sampai A-37) dengan nilai  $k$  didapat  $\rho$ . Dengan nilai  $f_c'$  dan  $f_y$  dari table istimewa (A-6) di dapat nilai  $\rho_{min}$  dan  $\rho_{max}$ . Nilai  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ .

Menentukan luas tulangan :

$$As = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.20)$$

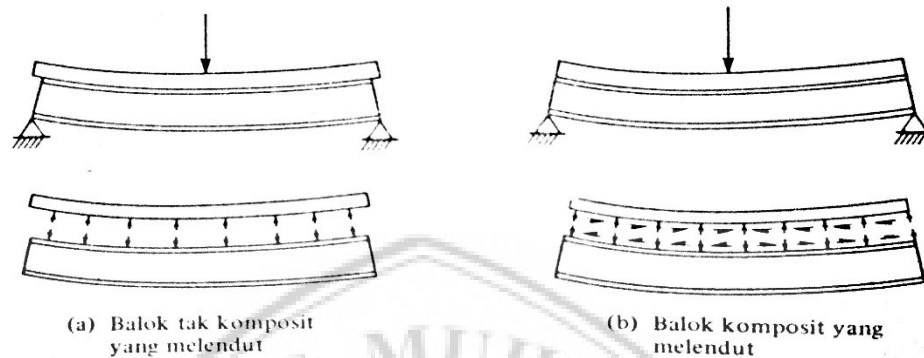
Apabila nilai  $\rho < \rho_{min}$  maka yang dipakai dalam menentukan luas tulangan adalah  $\rho_{min}$ .

### 2.9. Struktur Balok Komposit

Sistem struktur komposit terbentuk dari adanya interaksi antara komponen-komponen struktur baja dan beton yang masing-masing karakteristik dasar materialnya dimanfaatkan secara optimal. (Salmon, 1995:345)

Konsep perilaku komposit, pertama-tama ditinjau pada balok non komposit dimana bila diantara pelat dan balok diabaikan, balok dan pelatnya masing-masing memikul beban secara terpisah. Bila pelat mengalami deformasi karena beban vertical, permukaan bawahnya berada dalam keadaan tarik dan mengalami perpanjangan, sedangkan permukaan atas balok bajanya tertekan dan mengalami perpendekan. Sehingga terjadi diskontinuitas pada bidang kontakanya, karena gesekan diabaikan, hanya gaya-gaya vertical saja yang bekerja diantara slab dan balok.

Sedangkan pada balok komposit tidak akan terjadi slip di antara pelat dan balok. Gaya-gaya horizontal (geser) terjadi dan bekerja pada permukaan bawah pelat tersebut



sehingga menekan dan membuatnya menjadi pendek, sementara gaya-gaya tersebut juga bekerja pada permukaan atas balok dan membuatnya lebih panjang. (Salmon, 1995:348)

**Gambar 2.17** Perbandingan antara Balok yang Melendut Dengan dan Tanpa Aksi Komposit  
(Sumber : Salmon, 1995:348)

Aksi balok komposit terbentuk dengan adanya transfer geser antara pelat beton dan balok baja dapat terjadi melalui :

- 1) Mekanisme interlocking (menahan) antar penghubung geser mekanis dan pelat beton
- 2) Mekanisme lekatan dan friksi disepanjang permukaan atas profil baja yang terkekang didalam beton dan mekanisme tahanan pada bidang antara beton dan selubung beton sekitar profil baja.

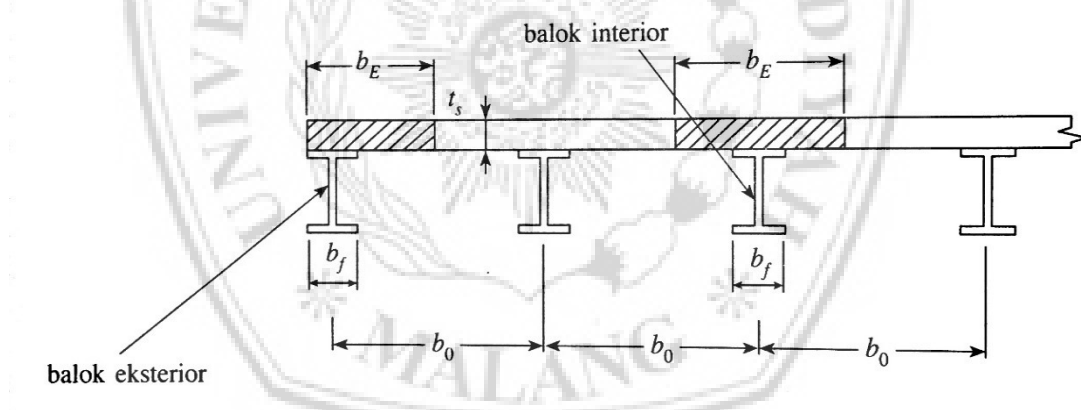
### 2.9.1. Lebar Efektif Balok Komposit

Lebar efektif minimum untuk gelagar dalam (interior) dengan plat di kedua sisi gelagar (diambil nilai minimum dari ketiga syarat) sebagai berikut :

- $b_E \leq L/4$
- $b_E \leq b_o$  (untuk jarak antara balok yang sama)
- $b_E \leq b_f + 16t_s$

Lebar efektif untuk gelagar pinggir (exterior) dengan plat hanya di salah satu sisi gelagar (diambil nilai minimum dari ketiga syarat) sebagai berikut :

- $b_E \leq L/8$
- $b_E \leq \frac{1}{2}b_o$  (jarak pusat balok ke tepi plat)
- $b_E \leq b_f + 6t_s$



Gambar 2.18 Lebar Efektif Balok Komposit (Sumber : Agus, 2013:282)

### 2.9.2. Kuat Lentur Balok Pra Komposit

Dalam merencanakan struktur komposit, sebelum beton mengeras struktur baja harus kuat dalam menahan beban dari berat sendiri dan beban hidup konstruksi yaitu sebesar 100 kg/m<sup>2</sup>. Besar momen nominal struktur baja tergantung dari nilai kekompakan penampang baja yang digunakan.

Tabel 2.4 Nilai Batasan Kelangsingan untuk Penampang WF

Elemen	$\lambda$	$\lambda_p$	$\lambda_r$
Flens	$\frac{b}{t}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,95 \sqrt{\frac{K_c E}{F_l}}$
Web	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

( Sumber  
: SNI

1729-2015)

### 1) Penampang Kompak

$$M_n = M_p$$

$$M_p = Z \cdot f_y \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

$M_p$  : Momen Plastis (N.mm)

$f_y$  : Tegangan leleh baja (Mpa)

$$Z_x : b \cdot t_f \cdot (d - t_f) + \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot (d - t_f)^2 \text{ (untuk profil WF, mm}^3\text{)}$$

$$Z_y : \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot t_f + \frac{1}{4} \cdot t_w^2 \cdot (d - 2t_f) \text{ (untuk profil WF, mm}^3\text{)}$$

### 2) Penampang Tidak Kompak

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$M_r = (f_y - f_r) \times S \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

$M_r$  : Momen batas tekuk (N.mm)

$f_r$  : Tegangan sisa (Mpa) 70 Mpa penampang gilas panas

$f_r$  : 70 Mpa untuk penampang gilas panas dan 115 Mpa untuk penampang yang dilas

### 3) Penampang Langsingg

$$M_n = M_r \left( \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (2.24)$$

### 2.9.3. Tegangan dan Regangan Balok Komposit

Dalam menentukan tegangan yang terjadi pada suatu komponen komposit, terlebih dahulu harus diketahui titik berat komponen tersebut. Karena terdapat perbedaan pada baja dan beton. maka beton harus ditransformasikan ke penampang baja yang di jelaskan pada sub bab sebelumnya. Cara mentransformasikannya adalah sebagai berikut :

$$\text{Luas Transformasi} = \frac{Ac}{n} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

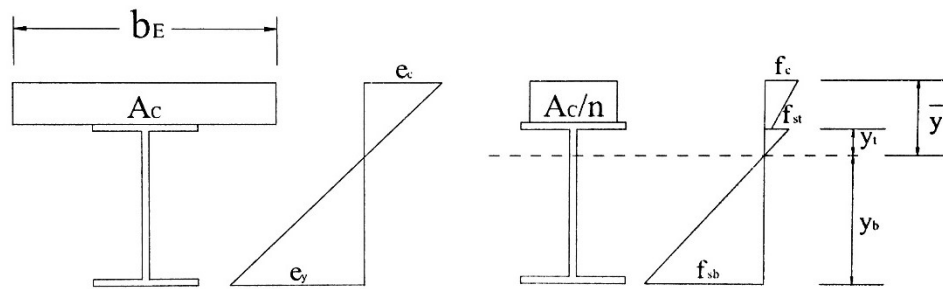
$A_c$  : Luas pelat beton eektif =  $b_E \times \text{tebal plat}$

$n$  : Rasio modulus =  $\frac{E_s}{E_c}$

$E_s$  : Modulus elastisitas baja (200000 MPa)

$E_c$  : Modulus elastisitas beton =  $4700 \sqrt{f'_c}$  (MPa)

$f'_c$  : Kuat tekan rencana pada usia 28 hari (MPa)



**Gambar 2.19** Diagram Tegangan dan Regangan Balok Komposit dengan Luas Penampang Plat Beton yang telah Ditransformasikan (Sumber : Agus, 2013:281)

Setelah didapatkan luas transformasi maka selanjutnya mencari nilai titik berat dan momen inersia untuk menemukan besarnya tegangan yang terjadi. Besarnya suatu tegangan pada penampang adalah sebagai berikut :

$$f_{st} = \frac{M \times y_t}{I} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$f_{sb} = \frac{M \times y_b}{I} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$f_c = \frac{M \times \bar{y}}{n \times I} \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan :

M : Momen

I : Momen inersia penampang

y<sub>b</sub> : Jarak titik berat penampang dengan tepi bawah penampang baja

y<sub>t</sub> : Jarak titik berat penampang dengan tepi atas penampang baja

$\bar{y}$  : Jarak titik berat penampang dengan tepi atas penampang beton

#### 2.9.4. Kekuatan Batas Komposit Penuh Daerah Momen Positif

Menurut SNI 1729 2015 pasal 13.2a ditentukan sebagai berikut:

Kekuatan lentur nominal desain,  $\phi_b \cdot M_n$  dari suatu komponen struktur komposit (untuk momen positif) dan kekuatan lentur positif yang diizinkan,  $M_n$  harus ditentukan untuk keadaan batas leleh sebagai berikut :

a) Untuk  $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{EI \cdot F_y}$

$M_n$  harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit untuk keadaan batas leleh (momen plastis).  $\phi_b = 0.90$

b) Untuk  $\frac{h}{t_w} > 3,76 \sqrt{EI \cdot F_y}$

$M_n$  harus ditentukan dari superposisi tegangan elastis dengan memperhitungkan efek penopang, untuk keadaan batas leleh (momen leleh).  $\phi_b = 0.90$

Kuat lentur nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis dapat dikategorikan menjadi dua kasus berikut :

1. Sumbu netral plastis jatuh pada plat beton



**Gambar 2.20** Diagram Tegangan dengan sumbu plastis jatuh pada plat beton (Sumber : Agus, 2013:291)

Besar gaya tekan C adalah :

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E \dots\dots\dots (2.29)$$



Gaya Tarik T pada profil baja adalah :

$$T = A_s.f_y \dots\dots\dots (2.30)$$

Dari keseimbangan gaya  $C = T$ , maka diperoleh :

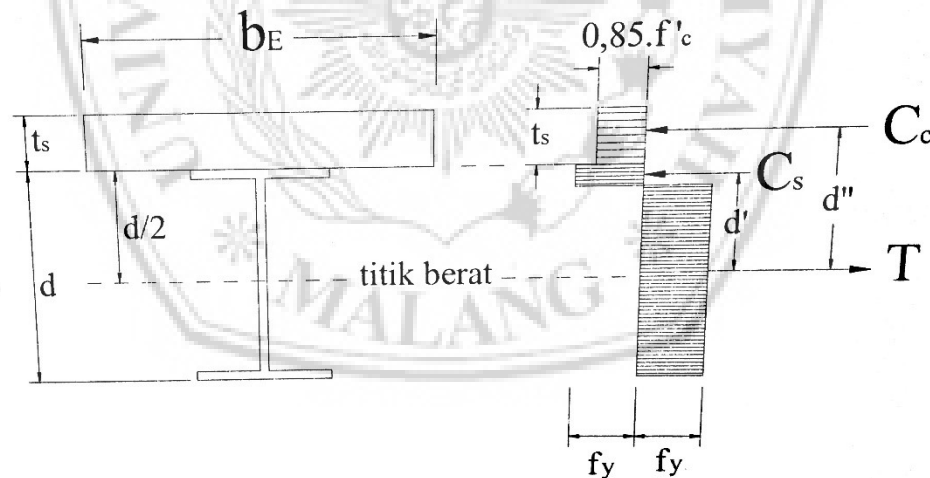
$$a = \frac{A_s.f_y}{0,85.f'_c.b_E} \dots\dots\dots (2.31)$$

Kuat lentur nominal dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_n = C.d_1 \text{ atau } M_n = T.d_1 = A_s.F_y.\left(\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2}\right) \dots\dots\dots (2.32)$$

Jika dari hasil perhitungan nilai  $a > t_s$  maka asumsi berubah. Hasil ini menyertakan bahwa plat beton tidak cukup kuat untuk mengimbangi gaya tarik yang timbul pada profil baja.

## 2. Sumbu netral plastis jatuh pada profil baja



**Gambar 2.21** Diagram Tegangan dengan sumbu plastis jatuh pada profil baja (Sumber : Agus, 2013:291)

Apabila ke dalam balok tegangan beton  $a$ , ternyata melebihi tebal plat beton, gaya tekan,  $C_c$  yang bekerja pada beton adalah sebesar :

$$C_c = 0,85.f'_c.b_E.t_s \dots\dots\dots (2.33)$$

Dari keseimbangan gaya diperoleh hubungan :

$$T' = C_c + C_s \dots\dots\dots (2.34)$$

Besarnya  $T'$  sekarang lebih kecil dari pada  $A_s.f_y$  yaitu :

$$T' = A_s.f_y - C_s \dots\dots\dots (2.35)$$

Dengan menyamakan persamaan diatas diperoleh :

$$C_s = \frac{A_s.f_y - C_s}{2} \text{ atau } C_s = \frac{A_s.f_y - 0,85.f'_c.b_E.ts}{2} \dots\dots\dots (2.36)$$

Kuat lentur nominal diperoleh :

$$M_n = C_c.d' + C_s.d'' \dots\dots\dots (2.37)$$

## 2.10. Struktur Rangka

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil. Susunan segitiga dari batang – batang membentuk struktur stabil dan kukuh. Pada bentuk segiempat atau bujursangkar, bila struktur tersebut diberi beban, maka akan terjadi deformasi masif dan menjadikan struktur tak stabil serta membentuk suatu mekanisme runtuh (collapse). Struktur segiempat atau bujursangkar juga dapat berubah bentuk dengan mudah tanpa adanya perubahan pada panjang setiap batang. Sebaliknya, konfigurasi segitiga tidak dapat berubah bentuk atau runtuh, sehingga dapat dikatakan bahwa bentuk ini stabil.

Pada struktur rangka, gaya yang timbul akibat beban adalah gaya pada batang – batang. Gaya – gaya tersebut adalah gaya tarik dan tekan murni. Lentur (*bending*) tidak akan terjadi selama beban berada pada titik *nodal* (titik simpul). Hal ini merupakan prinsip dasar penggunaan rangka batang pada gedung. Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan,

dan pada tepi bawah umumnya timbul gaya tarik. Gaya tarik atau tekan ini dapat timbul pada setiap batang dan mungkin terjadi pola yang berganti-ganti antara tarik dan tekan.

### 2.10.1. Batang Tarik

Menurut SNI 1729-2015 dinyatakan bahwa semua komponen struktur tarik yang memikul gaya tarik harus memenuhi :

$$P_u \leq \phi P_n \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan :

$P_u$  = Beban tarik ultimate

$P_n$  = Kuat tarik nominal

$\phi$  = Faktor reduksi, untuk kondisi leleh tarik  $\phi = 0,9$

Kuat tarik nominal  $P_n$  didapatkan dengan rumus :

$$P_n = F_y A_g \dots\dots\dots (2.39)$$

Dengan :

$F_y$  = Kuat leleh material (MPa)

$A_g$  = Luas Penampang bruto/gross (mm<sup>2</sup>)

Kuat tarik penampang berlubang (ditempat sambung) akan memanfaatkan perilaku strain-hardening (peningkatan tegangan) pada kondisi regangan inelastis yang dipicu oleh lonjakan tegangan terkonsentrasi di sekitar lubang.

$$P_n = F_u A_e = F_u A_n U \dots\dots\dots (2.40)$$

$\phi = 0,75$  (untuk kondisi runtuh tarik)

$A_n$  = Luas penampang bersih/netto

$A_e$  = Luas penampang efektif

U = Faktor *shear lag*

Nilai  $F_y$  dan  $F_u$  tergantung dari mutu material, yaitu kuat leleh dan kuat tarik minimum (kuat batas) dari bahannya. Keruntuhan leleh tingkat daktilitasnya lebih tinggi dari keruntuhan fraktur, oleh sebab itu maka faktor ketahanan tarik ( $\phi$ ) antara keduanya berbeda. Faktor keamanan untuk fraktur tentunya lebih tinggi.

### 2.10.2. Batang Tekan

Menurut SNI 1729-2015 dinyatakan bahwa kapasitas penampang batang tekan yang memikul gaya tekan harus memenuhi :

$$P_u \leq \phi P_n \dots\dots\dots (2.41)$$

Keterangan :

$P_u$  = Beban tekan ultimate

$P_n$  = Kuat tekan nominal

$\phi$  = Faktor reduksi, untuk batang tekan  $\phi = 0,9$

Kuat tekan nominal  $P_n$  didapatkan dengan rumus :

$$P_n = F_{cr} A_g \dots\dots\dots (2.42)$$

Dengan :

$F_y$  = Kuat leleh material (MPa)

$A_g$  = Luas Penampang ( $\text{mm}^2$ )

Tegangan Kritis ( $F_{cr}$ ) ditentukan sebagai berikut :

- Komponen struktur tanpa elemen langsing

a. Bila  $\frac{K.L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  atau  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$  , maka nilai  $F_{cr}$  :

$$F_{cr} = 0,658 \frac{F_y}{F_e} F_y \dots\dots\dots (2.43)$$

- b. Bila  $\frac{K.L}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  atau  $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$  , maka nilai  $F_{cr}$  :

$$F_{cr} = 0,877.F_e \dots\dots\dots (2.44)$$

Dengan :

$$F_e = \frac{\pi^2.E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$F_e$  = Tegangan tekuk kritis

$K$  = Faktor panjang tekuk

$L$  = Panjang komponen Struktur tekan

$r$  = Jari – jari girasi

- Komponen struktur dengan elemen langsing

- a. Bila  $\frac{K.L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{Q.F_y}}$  atau  $\frac{Q.F_y}{F_e} \leq 2,25$  , maka nilai  $F_{cr}$  :

$$F_{cr} = Q \left[ 0,658 \frac{Q.F_y}{F_e} \right] F_y \dots\dots\dots (2.45)$$

- b. Bila  $\frac{K.L}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{Q.F_y}}$  atau  $\frac{Q.F_y}{F_e} > 2,25$  , maka nilai  $F_{cr}$  :

$$F_{cr} = 0,877.F_e \dots\dots\dots (2.46)$$

Dengan :

$F_e$  = Tegangan tekuk kritis

$K$  = Faktor panjang tekuk

$L$  = Panjang komponen Struktur tekan

$r$  = Jari – jari girasi

$Q$  = Faktor reduksi netto yang menghitung untuk semua elemen tekan langsing

## 2.11. Sambungan Baut

Untuk waktu yang cukup lama metode penghubung/sambungan dengan rivet struktur baja banyak digunakan. Sekarang ini penggunaan rivet berkurang karena keunggulan metode sambungan las dan baut mutu tinggi.

Penggunaan baut pada ktur baja dapat mempercepat proses pelaksanaan dan tidak memerlukan kemampuan tinggi bagi pekerja dibanding dalam sambungan rivet dan las. Hal ini menyebabkan struktur baja dengan sambungan baut lebih ekonomis.

### 2.11.1. Jenis Baut

Dua tipe dasar baut mutu tinggi yang distandarkan oleh ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut ini mempunyai kepala berbentuk segi enam. Baut A325 terbuat dari baja karbon yang memiliki kuat leleh 560 sampai 630 Mpa, baut A490 terbuat dari baja alloy dengan kuat leleh 790 sampai 900 Mpa, tergantung pada diameternya. Diameter baut mutu tinggi berkisar antara 0,5 – 1,5 in, yang sering digunakan dalam struktur bangunan berdiameter antara 3/4 dan 7/8 in, dalam desain jembatan antara 7/8 hingga 1 in.

Dalam pemasangan baut mutu tinggi memerlukan gaya tarik awal yang cukup diperoleh dari pengencangan awal. Gaya ini akan memberikan friksi sehingga cukup kuat untuk memikul beban yang bekerja. Gaya ini dinamakan proof load. Proof load diperoleh dengan mengalikan luas daerah tegangan tarik ( $A$ ) dengan kuat leleh yang diperoleh dengan metode 0.2% tangen atau 0.55 regangan yang besarnya 70%  $f_u$  untuk A325, dan 80%  $f_u$  untuk A490.

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left[ d_b - \frac{0,8743}{n} \right]^2 \dots\dots\dots (2.47)$$

Dengan :

$d_b$  : diameter nominal baut

$n$  : jumlah ulir per mm

Baut mutu normal dipasang kencang tangan. Baut mutu tinggi mula-mula dipasang kencang tangan, dan kemudian diikuti 1/2 putaran lagi (turn-of-the-nut method). Dalam tabel berikut ditampilkan tipe-tipe baut dengan diameter, proof load dan kuat tarik minimumnya.

**Tabel 2.5** Tipe – Tipe Baut

Tipe Baut	Diameter (mm)	Proof Stress (Mpa)	Kuat Tarik Min. (Mpa)
A307	6,35 – 104	-	60
A325	12,7 – 25,4	585	825
	28,6 – 38,1	510	725
A490	12,7	825	1035

**Sumber :** Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, (Agus Setiawan, 2013)

Sambungan baut mutu tinggi dapat didesain sebagai sambungan tipe friksi (jika dikehendaki tak ada slip) atau juga sambungan tipe tumpu.

### 2.11.2. Tahanan Nominal Baut

Suatu baut yang memikul beban terfaktor  $R_u$ , sesuai persyaratan LRFD harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2.48)$$

Dengan  $R_n$  adalah tahanan nominal baut sedangkan adalah faktor reduksi yang diambil sebesar 0.75. besarnya  $R_n$  berbeda-beda untuk masing-masing tipe sambungan.

### 2.11.3. Kekuatan Tarik dan Geser Baut

Tahanan nominal satu baut yang memikul gaya tarik atau geser memenuhi persamaan :

$$R_n = F_n \cdot A_b \dots\dots\dots (2.49)$$

Dengan :

$A_b$  : luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir ( $\text{mm}^2$ )

$F_n$  : tegangan tarik nominal,  $F_{nt}$ , atau tegangan geser,  $F_{nv}$  (ksi/Mpa)

### 2.11.4. Kombinasi Gaya Tarik dan Geser dalam Sambungan Tipe-Tumpuan

Kekuatan tarik yang tersedia dari baut yang menahan kombinasi gaya tarik dan geser harus ditentukan sesuai dengan keadaan batas dari keruntuhan geser sebagai berikut:

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b \dots\dots\dots (2.50)$$

Dengan :

$F'_{nt}$  : tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser (ksi/Mpa)

$$F'_{nt} : 1,3 \cdot F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \dots\dots\dots (2.51)$$

$F_{nt}$  : tegangan tarik nominal



$F_{nv}$  : tegangan geser

$f_{rv}$  : tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban (ksi/Mpa)

## 2.12. Sambungan Las

Suatu proses penyambungan bahan logam yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanaskannya hingga suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi.

### 2.12.1. Tahanan Nominal

Persyaratan keamanan suatu struktur, dalam hal ini terutama untuk las adalah terpenuhinya persamaan :

$$R_u \leq \phi R_{nw} \dots\dots\dots (2.52)$$

Dengan :

$\phi$  : Faktor tahanan

$R_{nw}$  : adalah tahanan nominal per satuan panjang las

$R_u$  : adalah beban terfaktor per satuan panjang las

Kuat rencana per satuan panjang las sudut, ditentukan sebagai berikut :

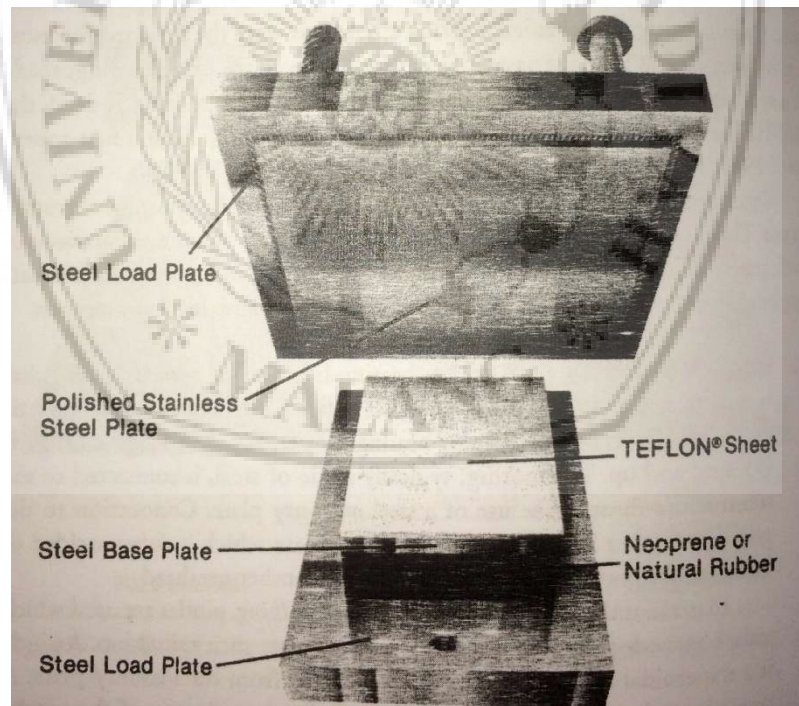
$$\phi R_{nw} = 0,75.t_e.(0,6.f_{uw}).(las) \dots\dots\dots (2.53)$$

$$\phi R_{nw} = 0,75.t_e.(0,6.f_{uw}).(bahan\ dasar) \dots\dots\dots (2.54)$$

### 2.13. Sliding Plate Bearings

Bearing atau bantalan adalah sistem mekanis yang mentransfer beban dari struktur atas ke struktur bawah. Di satu sisi bearing dapat dianggap sebagai titik temu antara struktur atas dan struktur bawah. Selain mentransfer beban vertikal ke struktur bawah seperti pier atau abutment, bearing memberikan ruang untuk pemuaian dan penyusutan batang. Bearing juga dapat bekerja sebagai pendukung saat mengalami rotasi dan defleksi dari struktur utama.

Dalam perencanaan skybridge diperlukan sebuah bearing pada kedua tumpuan. Bearing atau bantalan ini yang nantinya akan mendukung stabilitas dan mentransfer beban dari skybridge. Bearing bersama dengan dilatasi yang direncanakan akan mendukung stabilitas skybridge akibat simpangan yang terjadi pada gedung. Salah satu tipe bearing yang cocok untuk perencanaan skybridge ini adalah sliding plate bearings.



**Gambar 2.22** Komponen Sliding Plate Bearing (Zhao 2102)

Sliding plate bearing atau bantalan pelat geser adalah bearing yang menggunakan satu susunan plat yang dapat bergeser antara satu sama lain yang dapat menampung gerakan translasi dari struktur. Susunan pelat geser tersebut terdiri dari dua komponen. Komponen atas terdiri dari gabungan pelat baja yang dilas dengan pelat stainless steel yang telah dipoles. Komponen bawah terdapat lapisan *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) atau yang terkenal dengan nama dagang Teflon. Lapisan Teflon disatukan dengan pelat baja yang terikat dengan bantalan elastomer. Semua material komponen bawah sliding plate bearing digabungkan pada saat proses fabrikasi. Dengan sliding plate bearing struktur dapat bergerak bebas atau dapat di atur sesuai perencanaan.

